

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL COMPORTAMIENTO REACTIVO DE MÁRMOL DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA FRENTE A LA REACCIÓN ÁLCALI-CARBONATO

Locati, F.^{1,2}, Falcone D.³, Batic O.³ y Marfil S.⁴

1. CICTERRA (CONICET-UNC), Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, flocati@efn.uncor.edu
2. INGeReN-CENIIT-UNLaR, Av. Gob. Vernet y Apostol Felipe, La Rioja.
3. LEMIT-CIC de la Prov. de Bs. As., Calle 52 y 121, La Plata, durabilidad@lemit.gov.ar
4. CIC de la Prov. de Bs. As.-UNS-INGEOSUR, San Juan 670, B. Bca., smarfil@uns.edu.ar

Palabras Clave: mármoles - reacción álcali-carbonato - rocas carbonáticas

RESUMEN

Los triturados pétreos de la Provincia de Córdoba provienen principalmente del sector oriental de las Sierras Pampeanas. Parte de esas rocas se utilizan para la construcción de obras de hormigón y corresponden a extensos bancos de rocas carbonáticas metamórficas (mármoles) con importantes variaciones composicionales, mineralógicas y texturales, por lo que resulta relevante conocer su potencial desempeño frente a la reacción álcali-carbonato (RAC). Las muestras fueron caracterizadas mediante estudios petrográficos (IRAM 1649), se determinó el residuo insoluble y su mineralogía mediante DRX, y la proporción de calcita y dolomita mediante tinción con alizarina roja. Finalmente, se evaluó la potencial reactividad de las muestras mediante el ensayo del prisma de hormigón (IRAM 1700), el método del cilindro de roca (ASTM C586), el método químico canadiense (CSA A23.2-26A) y el método chino (M-CAMBT). Los mármoles estudiados se comportaron de forma no reactiva durante los diferentes ensayos llevados a cabo.

INTRODUCCIÓN

Los primeros antecedentes relacionados con la RAC se reportaron en Kingston, Canadá (1, 2). A partir de allí se identificaron estructuras afectadas por la reactividad de agregados dolomíticos en Estados Unidos (3, 4, 5, 6), China (7, 8) y Austria (9). También existirían evidencias en Irak, Bahrein e Inglaterra (10).

La RAC se produce por interacción de los álcalis presentes en la solución de poro del hormigón y calizas dolomíticas arcillosas (11). Esta reacción se caracteriza por una rápida expansión del hormigón y el agrietamiento subsecuente (12), pudiendo aparecer a unos meses de construida la estructura (6) o a edades superiores al año (13). Si bien muchas veces las manifestaciones de la RAC son confundidas con las asociadas a la RAS, algunos autores las distinguen ya que no se observan manchas, ni presencia de productos de reacción similares y tampoco hay exudación de geles (14).

Para que se produzca la RAC hace falta suficiente humedad, álcalis y agregados reactivos. Respecto a estos últimos, los factores que más influyen en la expansión del hormigón son el tipo de roca, el tamaño de grano, la composición, el residuo insoluble, el tamaño máximo del agregado, la granulometría y la porosidad (14). El tamaño máximo del agregado grueso parece tener una gran influencia en la RAC ya que a mayor tamaño del agregado grueso, en general se observan mayores expansiones (6, 14, 15). Además se observa que a mayor contenido de agregados reactivos mayor es la expansión, por lo que

no se observa el efecto *pessimum* (16). Las mayores expansiones se logran con una mezcla 50-50 de calcita y dolomita. El contenido de arcilla parece ser un factor importante dentro del proceso de expansión principalmente permitiendo el ingreso de las soluciones alcalinas, sin embargo su composición no parece ser determinante (5, 17).

La RAC, es un tema de discusión actual a nivel mundial aunque ha sido confirmada solo en cuatro países del mundo (18). Si bien en Argentina no se observan estructuras afectadas por esta patología, existen agregados dolomíticos potencialmente reactivos como los de Valcheta (Provincia de Río Negro) (19, 20). En Argentina el ensayo del prisma de hormigón (IRAM 1700) (21) se propone como “el método” para evaluar la potencial reactividad de los agregados tanto frente a la RAS como frente a la RAC, en conjunto con el examen petrográfico de los agregados (IRAM 1649) (22) y la información disponible sobre el comportamiento del hormigón en servicio. Otro método es el propuesto por la norma ASTM C586 (método del cilindro de roca) (23) para evaluar rocas calcáreas provenientes de canteras, que si bien no posee equivalente en la normativa Argentina, se ha utilizado en la caracterización preliminar y complementa la información aportada por otros ensayos (19, 20).

El propósito del presente trabajo es evaluar la potencial reactividad frente a la RAC de triturados pétreos carbonáticos de la Provincia de Córdoba, mediante ensayos físicos normalizados, estudios petrográficos y difracción de rayos X.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron cuatro rocas carbonáticas de la provincia de Córdoba denominadas SA1, AG02, CAN35 y ES01. Se caracterizaron mediante estudios petrográficos sobre secciones delgadas. Se utilizó un microscopio óptico de polarización Leica DM EP (x500).

Las muestras fueron ensayadas según la norma CSA A23.2-26A (Determinación de la reactividad álcali-carbonato potencial de rocas provenientes de cantera a través de la composición química) (24), el método M-CAMBT (Método Chino acelerado modificado) (25), la norma IRAM 1700 (ensayo del prisma de hormigón) (21) y la norma ASTM C586 (método del cilindro de roca) (23), con modificaciones en la dimensión de los cilindros de roca a ensayar (~75 mm de longitud y ~19 mm de diámetro) (19).

Para determinar la presencia de calcita y dolomita, se realizaron estudios por difracción de rayos X (DRX). Se utilizó un difractómetro Rigaku D-Max III-C con radiación de Cu ($K\alpha$), $\lambda=1.54059 \text{ \AA}$ y monocromador de grafito, a 35 kV y 15 mA, entre 3 y $60^\circ 2\theta$.

RESULTADOS

Características petrográficas de las rocas estudiadas

Muestra SA 1. Mármol: Proviene de un afloramiento del extremo sur de la Sierra Chica denominado Faja San Agustín. Posee textura granoblástica con bordes intercrystalinos irregulares. Está compuesta por calcita-dolomita (Cal-Dol) (~95%) y flogopita (Phl) (~5%). La Cal-Dol ($\leq 8 \text{ mm}$) es anhedra debido a la recristalización de sus bordes y a la formación de nuevos cristales ($\leq 100 \mu\text{m}$) que se localizan en los bordes de los granos. En ocasiones se observan algunos cristales de forma elongada (Figura 1a).

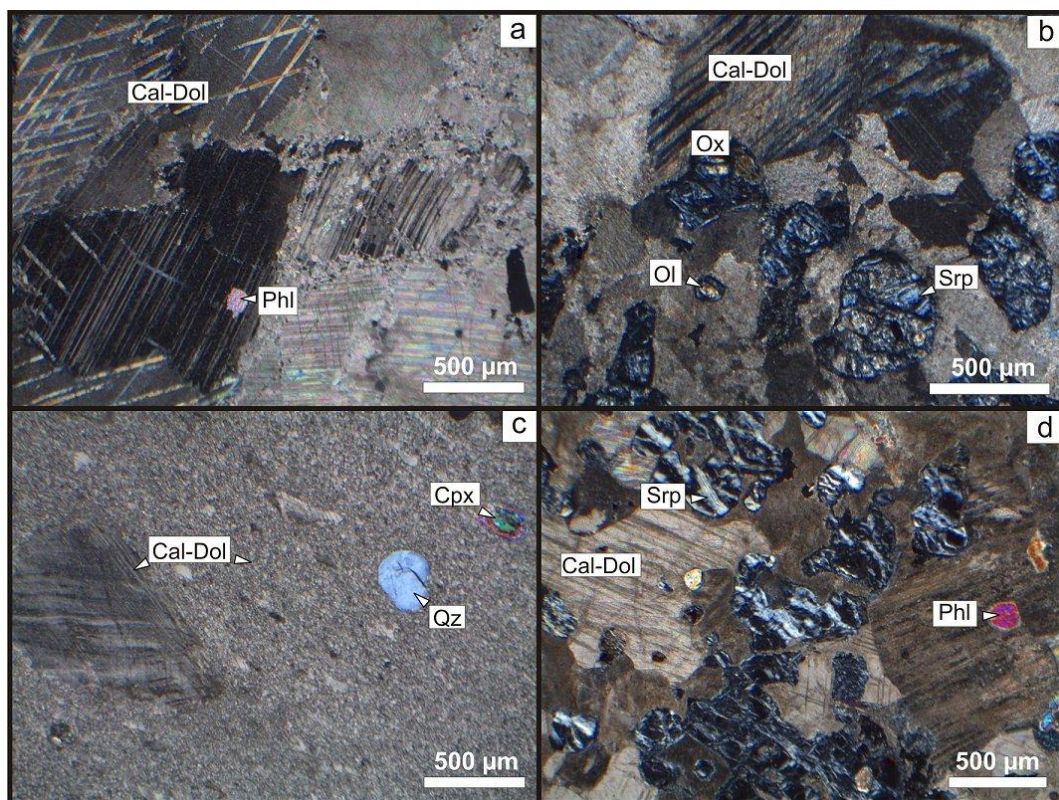


Figura 1: Fotomicrografías (nicoles cruzados). a) Muestra SA 1 (Mármol). b) Mármol serpentínico proveniente de la Muestra AG 02 (Mezcla de mármoles, gneises e intrusivos graníticos). c) Muestra CAN 35 (Mármol milonitizado). d) Muestra ES 01 (Mármol con serpentina).

Muestra AG 02. Mezcla de mármoles, gneises e intrusivos graníticos: Proviene de la faja de mármoles Alta Gracia-Bosque Alegre, cercana a la localidad de Alta Gracia. Está constituida por una mezcla de mármoles serpentínicos de textura granoblástica, con Cal-Dol subhedra a anhedra (≤ 1 mm) en un 60%, y serpentina (Srp) reemplazando casi completamente antiguos cristales de olivino (Ol) en un 40%. (Figura 1b). Los agregados calcáreos representan alrededor del 50% de la mezcla. El otro 50% son intrusivos tonalíticos, paragneises biotíticos con granate y ortogneises ricos en clinopiroxeno y anfíbol.

Muestra CAN 35. Mármol milonitizado: Proviene de la faja de mármoles Calera-Unquillo que se extiende entre las localidades homónimas. Presenta intensa deformación de cizalla evidenciada por la fuerte disminución en el tamaño de grano y la presencia de porfiroclastos. Está compuesta por una matriz (90%) de Cal-Dol subhédrica a anhédrica orientada y parcialmente recrystalizada (~ 20 μm). Los porfiroclastos (≤ 8 mm) corresponden en su mayoría, a cristales individuales de Cal-Dol, agregados de cristales de Cal-Dol con maclas deformadas, agregados de clinopiroxeno (Cpx), calcita (Cal), titanita (Ttn) y cuarzo (Qz) de tipo poligonal a subgranado (~ 50 μm). Los porfiroclastos abarcan aproximadamente un 10% de la roca y contienen Qz.

Muestra ES 01. Mármol con serpentina. Proviene de la faja de mármoles El Manzano, en cercanías de la localidad homónima, en el extremo norte de la Sierra Chica. Es una roca de textura granoblástica compuesta por Cal-Dol (70%), Srp (15%), Phl (5%), epidoto (Ep) y Cpx (5%) y, clorita (Chl), tremolita (Tr), minerales opacos (Op) y óxidos de hierro ($\sim 5\%$). La calcita-dolomita (≤ 3 mm) es subhedra a euhedra y de tipo poligonal. La Srp reemplaza totalmente al Ol dejando pseudomorfos de éste. También aparecen óxidos de hierro asociados a las fracturas del antiguo Ol.

Determinación de la reactividad alcalina potencial

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se informan los resultados de los ensayos físicos normalizados. Sólo las muestras ES 01 y CAN 35 fueron ensayadas según la norma ASTM C586 debido a las dimensiones no apropiadas de las restantes muestras para la obtención de los cilindros de roca.

Tabla 1: Resultados del ensayo según norma CSA A23.2-26A.

Muestra	Componentes (%)			Relación (CaO/MgO)	Calificación
	CaO	MgO	Al ₂ O ₃		
SA 1	34,49	16,64	0,28	2,07	No expansiva
AG 02	24,72	8,72	2,52	2,83	Potencialmente expansiva
CAN 35	42,72	1,13	2,38	37,80	No expansiva
ES 01	28,1	17,3	2,81	1,72	No expansiva

Tabla 2: Resultados del ensayo según norma ASTM C586.

Muestra	Variación en % a la edad de (días)					Calificación
	9	21	28	35	48	
CAN 35	0,018	0,033	0,033	0,033	0,035	No reactiva
ES 01	0,012	0,016	0,020	0,023	0,055	No reactiva

Tabla 3: Método M-CAMBT para las fracciones 3/8 - 4 y 4 - 8. NR: no reactiva.

Edad (días)	Variación de longitud en % a la edad de días							
	SA 1		AG 02		CAN 35		ES 01	
	3/8 - 4	4 - 8	3/8 - 4	4 - 8	3/8 - 4	4 - 8	3/8 - 4	4 - 8
7	0,018	0,010	0,016	0,014	0,026	0,020	0,020	0,014
16	0,045	0,028	0,031	0,053	0,028	0,037	0,032	0,021
21	0,050	0,030	0,054	0,065	0,045	0,038	0,033	0,022
30	0,061	0,033	0,075	0,087	0,059	0,045	0,036	0,024
Calificación	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 4: Resultados del ensayo según norma IRAM 1700. NR: no reactiva

Muestra	Variación en % a la edad de semanas									Calif.
	1 s	2 s	4 s	8 s	18 s	26 s	39 s	45 s	52 s	
SA 1	0,000	-0,002	-0,003	0,002	0,007	0,008	0,009	0,010	0,012	NR
AG 02	-0,002	-0,002	0,000	0,002	0,008	0,010	0,010	0,011	0,012	NR
CAN 35	0,000	0,000	0,001	0,005	0,006	0,007	0,009	0,009	0,009	NR
ES 01	0,000	0,000	0,001	0,005	0,004	0,002	0,006	0,007	0,006	NR

Determinación de calcita y dolomita por DRX

A excepción de las muestras CAN 35 (sin dolomita, Figura 2c) y SA 1 (sin calcita, Figura 2a), las restantes tienen calcita y dolomita en proporciones variables (Figuras 2 b y d, muestras AG 02 y ES 01 respectivamente).

Determinación del residuo insoluble y DRX del residuo

Se separaron 2 gramos de material por cada muestra, se trituró, se llevó a estufa (60°C) por 24 hs y se pesó (Mroc). Se secaron papeles de filtro en estufa y se pesaron (Mfil). Se colocó cada muestra en un vaso de precipitado y se añadió ácido clorhídrico (al 37%) agitando, y se calentó hasta casi ebullición. Se añadió un poco más de ácido hasta que terminó la reacción. Se filtró y se colocaron los filtros con los residuos en estufa (60 °C)

durante 24 hs y una vez secos y fríos se pesaron (Mfil+ins). Haciendo el cálculo $[(Mfil+ins - Mfil) / Mroc] \times 100$, se obtuvieron los resultados que se indican en la Tabla 5.

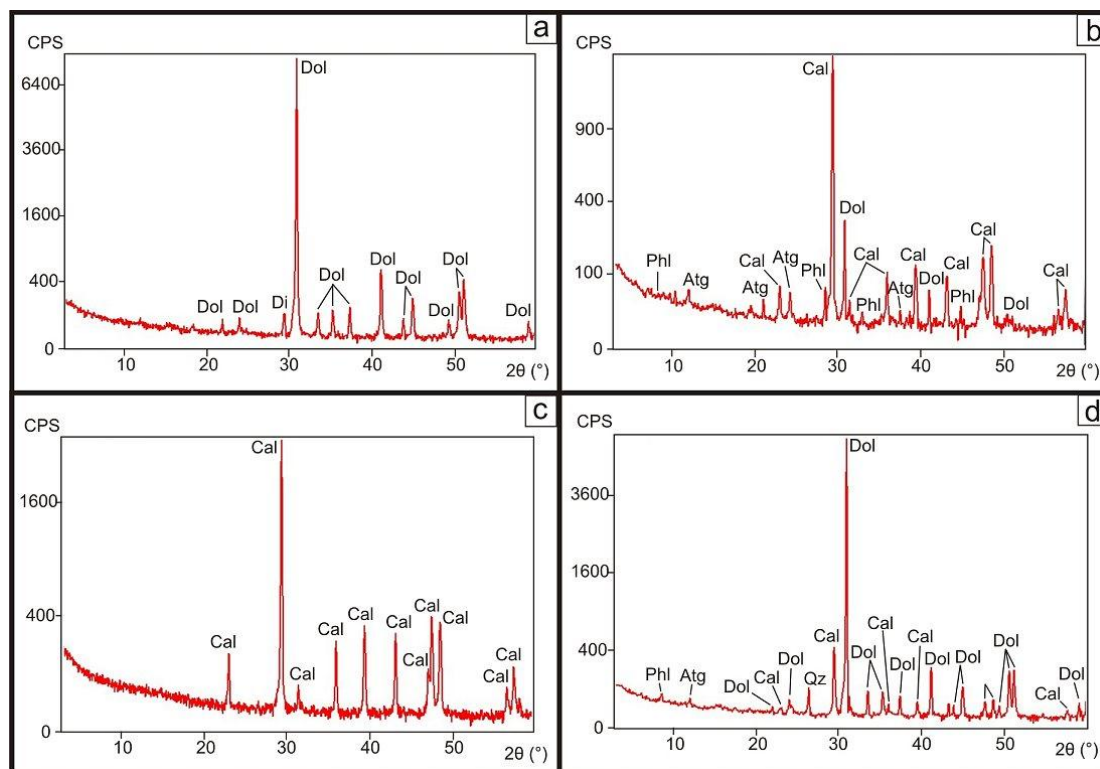


Figura 2: a) SA 1. Dolomita y diópsido. b) AG 02. Calcita predomina sobre dolomita. Escasa flogopita y antigorita. c) CAN 35. Calcita. d) ES 01. Dolomita predomina sobre calcita. Escasa flogopita, antigorita y cuarzo. CPS: Cuentas por segundo (Intensidad). Cal: calcita, Dol: dolomita, Phl: flogopita, Qz: cuarzo, Atg: antigorita, Di: diópsido.

Tabla 5: Residuo Insoluble en las muestras calcáreas estudiadas.

	SA 1	AG 02	CAN 35	ES 01
<i>Mroc (g)</i>	2,10	2,11	2,28	2,12
<i>Mfil (g)</i>	1,66	1,63	1,64	1,71
<i>Mfil+ins (g)</i>	1,89	2,27	2,00	2,01
<i>Residuo insoluble (% en peso)</i>	10,95	30,33	15,79	14,15

Este material se analizó mediante DRX. En la Tabla 6 se informan las especies minerales identificadas en los residuos de cada muestra.

Tinción con Alizarina Roja S. Contenido aproximado de calcita y dolomita

A fin de conocer el contenido aproximado de calcita y su distribución textural en cada roca se llevó a cabo el tñido de las mismas mediante Alizarina Roja S (26). Se cortaron bloques de ~4,5 x 2,5 x 1,2 cm y se pulieron en una de sus caras. Se preparó una solución, disolviendo 0,3 g de Alizarina Roja S en 4,54 ml de ácido clorhídrico (al 37%) y se completó con agua destilada hasta 100 ml. Se colocó cada pastilla de roca en una Caja de Petri con la cara pulida hacia arriba. Se cubrieron con la solución. Se dejó actuar 4 minutos, se lavó con agua destilada y se secó a temperatura ambiente. La calcita se tñió de color rojo, quedando la dolomita y demás minerales accesorios sin tñirse. Se tomaron fotografías de las superficies tñidas y luego se trabajaron con el programa ImageJ (27), obteniéndose

imágenes en blanco y negro (Figura 3). Luego, se calculó el % que involucra el área de color negro (la calcita) sobre el total de la superficie analizada (Tabla 7).

Tabla 6: Minerales identificados en el residuo insoluble de las diferentes muestras.

Minerales	SA 1	AG 02	CAN 35	ES 01
<i>Olivino</i>	-	-	-	-
<i>Flogopita</i>	-	X	-	X
<i>Diópsido</i>	-	X	X	-
<i>Antigorita</i>	X	X	-	X
<i>Cuarzo</i>	-	-	X	X
<i>Tremolita-Actinolita</i>	-	X	X	-
<i>Talco</i>	X	-	-	-
<i>Clorita</i>	X	-	-	-
<i>Plagioclasa</i>	-	-	X	-

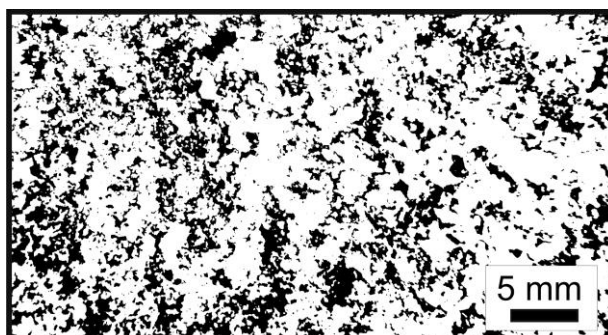


Figura 3: Imagen en blanco y negro procesada (software ImageJ). En negro se observa la calcita.

Tabla 7: Porcentaje de calcita determinados mediante el software ImageJ.

Muestras	SA 1	AG 02	CAN 35	ES 01
% de calcita (en superficie)	0,5	41,0	96,5	19,2

Para simplificar el análisis, se tomó el porcentaje de calcita determinado en dos dimensiones como representativo del % en volumen. El volumen de cada pastilla se determinó sumergiendo cada bloque en una probeta graduada con agua y observando el volumen de agua desplazado. Se determinó el volumen de calcita (en cm^3) en cada muestra y por medio de su densidad ($2,71 \text{ gr/cm}^3$), se calculó su peso en gramos. Se pesó cada pastilla y se obtuvo el porcentaje en peso de calcita en cada muestra. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 8: Determinación del porcentaje en peso de calcita en cada muestra.

Muestras	SA 1	AG 02	CAN 35	ES 01
% en volumen de calcita	0,50	41,00	96,50	19,20
Volumen de la pastilla (cm^3)	14,00	8,10	13,00	13,60
Volumen de calcita (cm^3)	0,07	3,32	12,55	2,61
Peso de calcita (gr)	0,19	9,00	34,00	7,08
Peso de la pastilla (gr)	37,85	22,01	34,31	37,52
% en peso de calcita	0,50	40,89	99,09	18,86

Según los resultados de DRX, la muestra CAN 35 no posee dolomita (mármol calcítico) y el residuo insoluble puede alcanzar el 16 % en peso (en la sección teñida el

residuo insoluble representa el 0,91 %). Según los resultados de DRX la muestra SA 1 no posee calcita (mármol dolomítico) y el residuo insoluble puede alcanzar el 11 % en peso. Mediante tinción se reconoció un 0,5 % de calcita en la muestra, sin embargo este porcentaje es muy bajo para ser identificado mediante DRX.

El resto de las muestras posee contenidos variables de calcita y dolomita. Teniendo en cuenta los valores de residuo insoluble (% en peso) y calcita (% en peso), se calculó el % en peso de dolomita en las muestras AG 02 y ES 01, determinándose 28,78 % y 66,99 % respectivamente. Se debe tener en cuenta que el porcentaje de residuo insoluble ha sido calculado sobre un volumen de muestra, mientras que el contenido de calcita ha sido calculado sobre una superficie, por lo que los valores de dolomita y calcita determinados son aproximados.

CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

- Las muestras ensayadas según los métodos CSA A23.2-26A, ASTM C586, IRAM 1700 y método M-CAMBT evidenciaron comportamientos no reactivos frente a la RAC. Si bien la muestra AG 02 manifestó un comportamiento potencialmente expansivo en el método químico canadiense, los valores se encuentran levemente por encima de los límites establecidos en la norma y el resto de los ensayos la califican como no reactiva.
- Las características petrográficas de las muestras estudiadas no coinciden con las mencionadas en la bibliografía para rocas potencialmente reactivas frente a la RAC. Las diferencias residen principalmente en que las reactivas, corresponden a rocas de tipo sedimentarias mientras que casi la totalidad de las rocas calcáreas de la provincia de Córdoba que se explotan como agregados para hormigón, provienen de rocas metamórficas (mármoles). Es por esto que la granulometría por lo general es mucho mayor (granos milimétricos), la textura es más trabada y los minerales del grupo de las arcillas están ausentes (aunque podrían estar presentes debido a procesos de alteración de los minerales ferromagnesianos).
- La muestra CAN 35 experimentó un buen comportamiento frente a los diferentes ensayos, calificándose como no reactiva. La roca presenta algunas características que podrían incrementar su potencial comportamiento reactivo, como elevado residuo insoluble (representado en parte por cuarzo tensionado relíctico) y tamaño de grano reducido (~20 μm) debido a procesos de deformación. Sin embargo, la composición de la misma (sin dolomita), el bajo contenido de cuarzo (< 5%) y la ausencia de minerales arcillosos, favorecieron su buen desempeño.
- La muestra ES 01 experimentó un buen comportamiento frente a los diferentes ensayos (no reactiva). A pesar de poseer un importante contenido en dolomita y ~14% de residuo insoluble, su granulometría ($\leq 3 \text{ mm}$), la ausencia de minerales arcillosos y las características texturales de la roca (granoblástica con granos bien trabados), son factores que han favorecido en su buen desempeño.
- Los minerales del grupo de la serpentina, muy comunes en los mármoles del sector, podrían actuar de forma similar a las arcillas, como canales para el ingreso de las soluciones alcalinas del hormigón, debido a sus características higroscópicas. Sin embargo la conectividad entre los cristales de serpentina observada en los mármoles estudiados, no es tan buena como en las arcillas en rocas sedimentarias.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CICTERRA (CONICET-UNC), al LEMIT-CIC, al Dpto. de Geología de la UNS-INGEOSUR y a la CIC de la Prov. de Bs. As. por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

- (1) Swenson, E.G., "Cement-aggregate reaction in concrete of a Canadian bridge", ASTM Proceedings, 57, (1957a), 1043-1056.
- (2) Swenson, E.G., "A reactive aggregate undetected by ASTM test", ASTM Bull., Vol. 226, (1957b), 48-51.
- (3) Newlon, H.H., Sherwood, W.C., "An occurrence of alkali-reactive carbonate rock in Virginia", Highway Research Board Bulletin, Vol. 355, (1962), 27-44.
- (4) Welp, T.L., De Young, C.E., "Variations in performance of concrete with carbonate aggregates in Iowa", Highway Research Record, Vol. 45, (1964), 159-177.
- (5) Hadley, D., "Alkali Reactivity of Carbonate Rocks-Expansion and Dedolomitization", Highway Research Board, Vol. 40, (1961), 462-474.
- (6) Hadley, D., "Alkali Reactivity of Carbonate Rocks-Expansion and Dedolomitization", Highway Research Record, Vol. 45, (1964), 1-20.
- (7) Deng, M., Han, S., Lu, Y., Lan, X., Hu, Y., Tang, M., "Deterioration of concrete structures due to alkali-carbonate reaction in China", Cem. and Conc. Res., Vol. 23, N° 5, (1993), 1040-1046.
- (8) Tong, L., Min, D., Xianhui, L., Tang, M., "A case study of two airport runways affected by alkali-carbonate reaction. Part one: Evidence of deterioration and evaluation of aggregates", Cement and Concrete Research, Vol. 27, N° 3, (1997), 321-328.
- (9) Sommer, H., Steigenberger, J., Zückert, U., "Vermeiden von Schäden durch Alkali-Zuschlag-Reaktion", Schriftenreihe Straßenforschung Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Wien: Heft, (2001), 504 pp.
- (10) Ozol, M.A., "Alkali-carbonate rock reaction". En: Lamond, J.F., Pielert, J.H. (Eds.), "Significance of test and properties of concrete and concrete-making materials", ASTM STP 169D, Chapter 35, ASTM International, United States, (2006), 410-424.
- (11) St. John, D.A., Poole, A.W., Sims, I., "Concrete Petrography. A Handbook of Investigative Techniques". 1° Ed., Arnold, (1998), 488 pp.
- (12) Batic, O., Sota, J., "Reacciones Deletéreas Internas". En: Irassar, E.F. (Ed.), "Durabilidad del Hormigón Estructural", 1° Ed., AATH, (2001), 157-216.
- (13) Rogers, C.A., "Evaluation for the Potential for Expansion and Cracking of Concrete Caused by the Alkali-carbonate Reaction", Cem. Concrete and Aggregates, Vol. 8, N° 1, (1986), 13-23.
- (14) Grattan-Bellew, P., Gillott, J., "Three decades of studying the alkali reactivity of Canadian aggregates", Proc. Int. Conf. on Concrete Durability, ACI SP 100-70, Vol. 2, (1987), 1365-1384.
- (15) Swenson, E.G., Gillott, J.E., "Alkali-carbonate rock reaction", H.Res.R., Vol. 45, (1964), 21-40.
- (16) Swenson, E.G., Gillott, J.E., "Characteristics of Kingston Carbonate Rock Reaction", Highway Research Board Bulletin, Vol. 275, (1960), 18-31.
- (17) Tang, M., Liu, Z., Su-Fen, H., "Mechanism of alkali carbonate reaction", Proceedings of the 7th International Conference on AAR in Concrete, (1986), 275-279.
- (18) Milanese, C., Pappalardi, M., Perrone, F., Violini, D., "Evaluación de la aptitud de una roca dolomítica para uso en hormigones frente a la reacción álcali-agregado", I Cong. de Hormigón Premezclado de las Américas 2010, XVIII Reunión de la AATH, (2010), 8 pp.
- (19) Milanese, C., Batic, O.R., "Alkali reactivity of dolomitic rocks from Argentina", Cement and Concrete Research, Vol. 24, N° 6, (1994), 1073-1084.
- (20) Milanese, C., Marfil, S., Batic, O., Maiza, P., "The alkali-carbonate reaction and its reaction products - An experience with Argentinean dolomite rocks", Cem. Conc. Res., Vol. 26, N° 10, (1996), 1579-1591.
- (21) IRAM 1700, "Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado", IRAM, (1997), 16 pp.
- (22) IRAM 1649, "Examen petrográfico de agregados para hormigón", IRAM, (2008), 18 pp.
- (23) ASTM C586, "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method)", Annual Book (04.02), (2005), 5 pp.
- (24) CSA A23.2-26A, "Determination of Potential Alkali-Carbonate Reactivity of Quarried Carbonate Rocks by Chemical Composition", CSA International, (2004).
- (25) Lu, D., Fournier, B., Grattan-Bellew, P.E., Xu, Z., Tang, M., "Development of a Universal Accelerated Test for Alkali-Silica and Alkali-Carbonate Reactivity of Concrete Aggregates", Materials and Structures, Vol. 41, (2008), 235-246.
- (26) Hutchison, C.H., "Laboratory handbook of petrographic techniques", John Wiley & Sons, (1974), 527 pp.
- (27) Rasband, W.S., "ImageJ", National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/> (1997-2011).